

Considerações Teóricas sobre a Dinâmica Superficial em Ambientes Tropicais Áridos e Semiáridos: Aplicação ao Semiárido do Nordeste Brasileiro

Theoretical Considerations on Surface Dynamics in Arid and Semiarid Tropical Environments: Application to the Semiarid of Northeast Brazil

Maria Goretti Cabral de Limaⁱ

Colégio Militar do Recife
Pernambuco, Brasil

Oswaldo Girãoⁱⁱ

Universidade Federal de Pernambuco
Pernambuco, Brasil

Resumo: A dinâmica morfológica em ambientes tropicais semiáridos reflete a ação de condicionantes responsáveis pela modelagem do relevo, tendo nas ações eólica e hídrica os principais fatores para evolução morfodinâmica. As áreas semiáridas são consideradas ecossistemas frágeis, com cobertura da vegetação escassa, em que os processos erosivos ocorrem de forma rápida e severa durante e após curtos episódios de precipitação pluvial, sendo os solos susceptíveis à erosão. Ademais, “gatilhos” desencadeados por formas de usos antrópicos podem levar a intensificação e ampliação da incidência de processos erosivos. Como resultado deste artigo, de caráter teórico, e embasado em levantamento bibliográfico e observações de campo nos estados de Pernambuco e Paraíba, objetivou-se reconhecer a dinâmica superficial que condiciona a modelagem do relevo no semiárido nordestino, considerando como eventos pluviais intensos contribuem para a morfodinâmica das paisagens sobre os domínios fluviais e interfluviais, assim como as inserções antrópicas influenciam a intensificação desta dinâmica.

Palavras-chave: Morfodinâmica; Processo Erosivo; Eventos Pluviais; Usos da Terra; Semiárido Nordestino.

Abstract: Morphological dynamics in dry tropical environments reflect the action of conditioners that respond according to the modeling of relief, which have in wind and water actions the main factors responsible for morpho-dynamic evolution. Arid and semi-arid areas are considered fragile ecosystems, with scarce vegetation cover, where erosive

ⁱ Professora do Ensino Básico Técnico e Tecnológico (EBTT) D IV 3 – Ensino Médio. goretticabral@hotmail.com. orcid.org/0000-0003-3784-9887

ⁱⁱ Professor Associado 3 – Depto. de Ciências Geográficas. osgirao@gmail.com. orcid.org/0000-0002-5797-4450

processes occur rapidly and severely during and after short episodes of intense rainfall when soils are naturally susceptible to erosion. In addition, "triggers" caused by forms of anthropic uses can lead to intensification and expansion of the incidence of erosive processes. The objective of this theoretical article, based on bibliographic survey and field observations in the states of Pernambuco and Paraíba, is to identify surface dynamics that condition relief modeling in the northeastern semi-arid zone. Intensification of surface dynamics is related to intense rainfall events which contribute to the morpho-dynamics of fluvial and interfluvial domains in landscapes as well as to anthropic insertions.

Keywords: Morpho-dynamics; Erosive Processes; Rainfall Events; Land Use; Northeastern Semi-arid Zone.

Introdução

Os atributos que estabelecem a similitude entre as regiões consideradas áridas e semiáridas do mundo são de origem climática, que se refletem sobre a dinâmica hídrica, pedológica e fitogeográfica a partir dos baixos níveis de precipitação e umidade, com prolongados períodos de carência hídrica; solos com limitações do ponto de vista físico e geoquímico (solos parcialmente salinos, solos carbonáticos etc.) e ausência, majoritariamente, de rios considerados perenes, sobretudo no que se refere às drenagens autóctones (AB'SABER, 1990).

Apesar de serem definidas como ambientes inóspitos e desagradáveis, para Goudie (2013), as terras áridas e semiáridas do mundo representam algumas das mais belas paisagens da superfície terrestre, pois é exatamente a escassez de vegetação, com predomínio de uma cobertura vegetal rarefeita e de caráter xerófilo, que torna possível uma melhor visibilidade das formas de relevo e as feições das paisagens desses ambientes. Assim, é importante que as pesquisas geomorfológicas busquem analisar as características ambientais físicas/naturais considerando as formas de relevo e os reflexos dos processos que as geram, que tornam esses ambientes únicos e diferenciados no quadro dos grandes ambientes da Terra.

No caso do semiárido brasileiro, também conhecido como sertão nordestino, este compreende uma área de mais de 900.000 km², delimitado, geograficamente, pelo Ministério da Integração Nacional, que utilizou como critério três variáveis: precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm; índice de aridez de até 0,5 e risco de seca maior que 60%. No semiárido brasileiro o que caracteriza a aridez não é tanto o baixo volume de chuvas predominante na região (entre 500 e 800 mm), mas a irregularidade e imprevisibilidade das mesmas, que mesmo em anos considerados normais climaticamente podem se concentrar em pequenos intervalos de tempo ao longo de um ano (quatro a cinco meses).

Em relação aos demais tipos de espaços secos do mundo, muitos fatos respondem pela originalidade fisiográfica e ecológica de regiões áridas e semiáridas, embora o grau de diferenciação também se estenda aos seus condicionantes econômicos e sociais.

Do ponto de vista ambiental, as áreas áridas e semiáridas são consideradas ecossistemas frágeis pela escassez de cobertura da vegetação, o que leva os processos erosivos a ocorrerem de forma rápida e intensa durante e após curtos episódios de precipitações.

Nas regiões secas da Terra os solos são naturalmente susceptíveis à erosão, sendo rasos e com alto teor de partículas de silte e outras granulométricas consideradas grossas, que são facilmente remobilizadas pelo escoamento superficial, fato potencializado pela ausência de cobertura vegetal densa e extensiva, deixando os solos mais expostos aos processos que modificam a paisagem superficial nos períodos de chuvas.

Entretanto, além dos condicionantes físico/naturais desses ambientes, a gradativa expansão ocupacional e de usos de regiões secas nas últimas décadas estão majorando, extensivamente, as possibilidades de fragilidade ambiental a partir de “gatilhos” desencadeados por formas de usos que levam à quebra do equilíbrio dinâmico de tais ambientes, como a desertificação e salinização dos solos, o que justifica a relevância do reconhecimento das dinâmicas superficiais para a manutenção do equilíbrio destes ambientes.

Assim, ao considerar o semiárido do Nordeste brasileiro, o artigo em questão tem como objetivo reconhecer a dinâmica superficial que modela o relevo desta porção regional ao considerar os eventos pluviais intensos, apesar de escassos, como agentes relevantes para a morfodinâmica das paisagens, considerando para tanto os domínios fluviais e interfluviais do ambiente semiárido, assim como as inserções antrópicas derivadas das formas de usos e ocupações como fatores de intensificação da dinâmica superficial inerente a esse ambiente.

Procedimentos Metodológicos

O artigo está baseado em uma revisão bibliográfica relativa a dinâmicas processuais em ambientes considerados áridos e semiáridos, tendo um enfoque teórico-conceitual baseado em análises *in loco* quando da realização de atividades de campo junto às turmas da disciplina Dinâmicas Superficiais em Ambientes Tropicais (1º semestre de 2017), do Programa de Pós-Graduação em Geografia, e Introdução à Geomorfologia (1º semestre de 2018), do curso de Licenciatura em Geografia, ambos da Universidade Federal de Pernambuco.

Por ocasião das atividades de campo realizadas nas disciplinas em questão, os autores realizaram a captação de imagens ilustrativas da ocorrência de processos e suas consequentes feições presentes na paisagem do semiárido nos estados de Pernambuco e Paraíba.

Água e Dinâmica Climática em Ambientes Áridos e Semiáridos

Discorrer sobre a dinâmica climática de ambientes secos nos remete a uma das publicações mais icônicas sobre o sertão nordestino, a obra *Os Sertões*, de Euclides da Cunha, de 1901. Nela, o autor afirma que o clima do sertão nordestino apresenta a sua manifestação mais incisiva, definida numa palavra, que é o terror máximo dos rudes patrícios que por ali se agitam – a seca (períodos prolongados de índices pluviais abaixo das médias históricas).

O critério estabelecido para delimitação dos ambientes secos é o Índice de Aridez de Thornthwaite, de 1941, o qual é dado pela razão entre a Precipitação (P) e a Evapo-

transpiração Potencial (ET). De acordo com esse índice, quando a razão estiver entre 0,05 e 0,20, o clima é considerado árido; na faixa entre 0,21 e 0,50, o clima é caracterizado como semi-árido; quando estiver entre 0,51 e 0,65, considera-se subúmido seco; e, por fim, acima desse valor, subúmido ou úmido (BRASIL, 2007).

Os ambientes secos, e suas respectivas intensidades de aridez, se espalham por diferentes latitudes do globo terrestre, mas, majoritariamente, estão presentes no hemisfério norte. Enquanto a África e a Ásia contêm quase um terço de seus territórios constituídos por zonas consideradas áridas ou semiáridas, conforme a Figura 1 e a Tabela 1, destacando-se os desertos da Arábia, Paquistão, Índia, na Ásia Central, Saara, na África do Norte e, na África do Sul, o deserto costeiro do Namibe-Angola e os dos Kalahari e Karroo; a Austrália pode ser considerada um país com aproximadamente 75% do seu território constituído por regiões áridas a secas subúmidas (GUTIÉRREZ, 2011).

Para GUTIÉRREZ (2011), a aridez é uma condição controlada por uma conjunção de fatores de origem zonal ou climática, orográfica, oceanográfica e relativa a continentalidade. Em algumas regiões da Terra a escassez da água se deve a uma causa/fator concreto, enquanto, em outras, a aridez resulta da sobreposição de vários fatores (THOMAS, 2011).

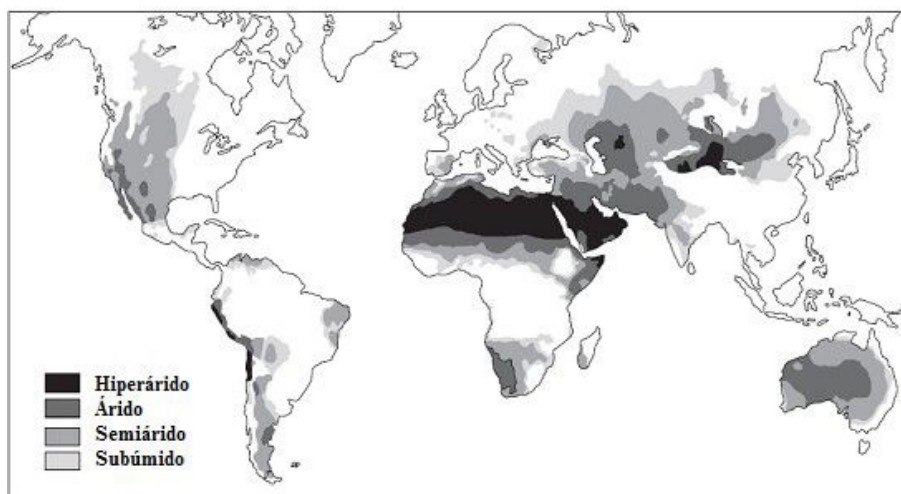


Figura 1 – Distribuição global das terras secas.
Adaptado de THOMAS (2011).

Entretanto, os elementos determinantes para ambientes considerados áridos ou semiáridos são os tipos climáticos, causa de constantes ansiedades para seus habitantes em decorrência da forte variabilidade pluvial, uma vez que os demais elementos constitutivos do quadro natural (morfologia, hidrografia, solos e cobertura vegetal natural) possuem caracteres governados, essencialmente, pela influência dos elementos climáticos, sendo a água, como elemento de destaque da dinâmica climática, um dos principais

fatores que atuam na dinâmica superficial das paisagens das terras secas, mesmo considerando sua escassez em tais ambientes, mas que, quando presente, responde pela modelagem paisagística.

Característica comum a todas as regiões secas é que a água está disponível de forma descontínua, no tempo e no espaço. A partir dessa premissa, é importante destacar que todos os demais processos ambientais são extremamente sensíveis à disponibilidade, à quantidade e à intensidade da água. Os climas de ambientes áridos e semiáridos quentes também são potencializados pelo alto fotoperíodo e insolação intensa, e apresentam particularidades ainda pouco conhecidas, em relação à atuação dos processos morfodinâmicos superficiais (THOMAS, 2011).

Tabela 1 – Extensão das terras secas no mundo.

Continente	Percentual de área total de terras secas por continente
África	31,9%
Ásia	31,7%
América do Norte	12,0%
América do Sul	8,8%
Europa	4,9%
Oceania	10,8%

Fonte: THOMAS (2011).

Para o semiárido nordestino, por exemplo, uma das principais características do clima é a alternância de duas estações, nitidamente delimitadas pelo regime pluviométrico com chuvas no “inverno”, e estiagem no “verão”, no linguajar do povo sertanejo. Contudo, contraditoriamente, as chuvas do “inverno” do sertanejo ocorrem durante o verão-outono austral (dezembro a junho), enquanto o “verão” seco, caracteriza o período de inverno-primavera austral (julho a novembro).

Outra característica marcante do clima do semiárido nordestino é a distribuição das chuvas, que ocorre de forma irregular, com anos que apresentam médias anuais normais, ou mesmo acima das normais climáticas, e anos que ficam abaixo da média em percentuais equivalentes a 50% ou mesmo 30% das normais climáticas (BLOOM, 1996; GIRÃO, 2012; MELO, 2012).

No caso do semiárido nordestino pode-se dizer, de modo genérico, que as principais causas das estiagens prolongadas nesta porção regional estão relacionadas à localização em uma área que recebe pouca influência das massas de ar úmidas que atuam sobre o país. Contudo, perturbações atmosféricas no interior de massas de ar, ou mesmo em zonas limítrofes entre massas de ar, alteram as condições de tempo dominantes sobre o interior do Nordeste, possibilitando a ocorrência de chuvas em determinadas porções regionais, estando tais perturbações associadas aos seguintes sistemas atmosféricos que atuam sobre o semiárido regional: Sistemas Convectivos de Meso-escala (SCM), Vórtices

Ciclônicos de Altos Níveis ou Vórtices Ciclônicos de Alta Troposfera (VCAN ou VCAT) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (NÓBREGA, SOARES e GIRÃO, 2013).

A despeito da atuação dos SCMs e dos VCANs/VCATs no chamado sertão do Nordeste brasileiro as precipitações tropicais acontecem, majoritariamente, como resultado da ação da chamada Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (BRASIL, 2007).

A ZCIT é o sistema meteorológico mais importante na determinação de quão abundantes, ou deficientes, serão as chuvas no setor centro-norte do Nordeste do Brasil, pois esta perturbação migra sazonalmente de sua posição mais ao norte, aproximadamente 12°N, em agosto-setembro para posições mais ao sul, em média a aproximadamente 4°S, entre março-abril, podendo chegar a 12°S.

Essa zona de convergência é uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte (nordeste) com os ventos alísios do hemisfério sul (sudeste). De maneira simplista, pode-se dizer que a convergência dos ventos faz com que o ar quente e úmido ascenda, carregando umidade dos oceanos para os altos níveis da atmosfera ocorrendo à formação de uma faixa de nebulosidade, sendo esta mais significativa sobre os oceanos e, por isso, a Temperatura da Superfície do Mar (TSM) é um dos fatores determinantes na sua posição latitudinal e sua intensidade.

Os períodos de estiagens no sertão nordestino, sejam anuais ou plurianuais, incidem com maior frequência sobre os espaços diretamente influenciados pela ZCIT, mas há anos em que a variabilidade climática decorrente da ação desse sistema atmosférico é combinada com os fatores que determinam, também, o regime pluviométrico escasso para as porções regionais dos litorais setentrional e oriental, principalmente durante o verão austral (dezembro-março).

Há de se destacar que as variações anuais da influência da ZCIT sobre o semiárido nordestino estão relacionadas com a variação do chamado Dipolo do Atlântico Tropical (DAT), que corresponde a uma mudança anormal na Temperatura da Superfície do Mar (TSM) no Oceano Atlântico Tropical, que pode diminuir, ou aumentar, a formação de nuvens, influenciando os índices pluviométricos no leste da Amazônia e litoral norte brasileiro (Amapá, Pará, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco).

Para a ocorrência do DAT, faz-se necessário que, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais quentes que as do Atlântico Tropical Sul, ocorram movimentos descendentes transportando ar frio e seco dos altos níveis da atmosfera sobre a região leste da Amazônia e litoral norte brasileiro, inibindo a formação de nuvens e diminuindo a precipitação, caracterizando o chamado Dipolo Positivo; em contrapartida, quando as águas do Atlântico Tropical Norte estão mais frias que as do Atlântico Tropical Sul ocorre aumento nos movimentos ascendentes sobre o leste da Amazônia e litoral norte brasileiro, aumentando tanto a formação de nuvens quanto os índices pluviométricos, gerando o chamado Dipolo Negativo, benéfico para a porção centro-norte do Nordeste brasileiro.

Ação Intempérica, Formas e Ambientes Áridos e Semiáridos

As formas de relevo dos ambientes áridos e semiáridos resultam, principalmente, da ação do clima e, para a geomorfologia, as semelhanças do clima nestes ambientes nas

diferentes áreas da Terra são mais evidenciadas que as influências da configuração estrutural e tectônica, por exemplo, na definição dos processos superficiais de modelagem das formas de relevo. Desta forma, são os climas atuais, e os paleoclimas, os principais responsáveis pelas feições geomorfológicas contemporâneas presentes nestes ambientes (THOMAS, 2011).

A partir do entendimento de que a dinâmica climática é fundamental para a atuação dos processos modeladores exógenos sobre as formas de relevo, os estudos da geomorfologia climática se dedicam à busca da compreensão da relação entre determinados tipos climáticos, seus respectivos processos atuantes e as consequentes respostas na gênese e morfodinâmica de feições geomorfológicas (GUTIÉRREZ, 2011).

Assim, a geomorfologia climática, a partir de uma abordagem sistêmica, analisa os processos e as formas/feições da paisagem, considerando o papel desempenhado pelos climas, assim como suas oscilações e alternâncias, em diferentes lapsos de tempo.

No Brasil, a geomorfologia se apropriou desta abordagem, principalmente a partir da atuação de pesquisadores como Emmanuel de Martonne, Jean Tricart, Aziz Nacib Ab'Saber e João José Bigarella, considerados expoentes neste tema e que se voltaram, sobremaneira, para o aspecto climático e suas repercussões sobre as paisagens geomorfológicas brasileiras (AB'SABER, 2006; CONTI, 2008; RIBEIRO et al., 2010).

Uma paisagem evolui, ou se modifica, a partir de toda a sua riqueza superficial de produtos do intemperismo, solos e cobertura vegetal. O relevo atual comporta um saldo de interferência que somente pode ser compreendido à luz de uma investigação minuciosa de suas feições e depósitos superficiais. Para Ab'Saber (2003), as bases rochosas da paisagem respondem apenas por uma certa "ossatura topográfica", mas, na realidade, são os processos morfoclimáticos sucessivos que modelam e criam e recriam feições do relevo.

Para Yang e Williams (2015), em ambientes de climas árido e semiárido, os processos superficiais de modelagem da paisagem mais atuantes, considerando a dinâmica climática atual, são o intemperismo físico e os processos fluviais e eólicos, visto que o intemperismo químico é limitado, entre outros fatores, pela incipiente pluviosidade tanto em quantidade quanto em distribuição anual, bem como pela baixa taxa de penetração de água nas rochas, devido à elevada evaporação. Os fatores e fenômenos relacionados aos climas de ambientes áridos e semiáridos, sobressaindo-se o aspecto pluvial e a consequente umidade, também dificultam a atuação dos agentes pedogenéticos e biológicos na modelagem superficial da paisagem, sendo, estes últimos, de caráter incipiente.

De todos os ambientes da superfície terrestre, os ambientes áridos e semiáridos apresentam elevado grau de interação entre intemperismo mecânico e formas geomórficas resultantes. Embora a ação intempélica desenvolvida nestes ambientes tenha sido pouco estudada pela geomorfologia até a década de 2010, atualmente já se percebe um aumento de pesquisas sendo desenvolvidas sobre esta temática nestas áreas, por pesquisadores de diferentes ramos deste conhecimento (THOMAS, 2011, VILES, 2011 e YANG e WILLIAMS, 2015). Pesquisadores que analisam a atuação do intemperismo em ambientes úmidos perceberam a importância de estudar e analisar este fenômeno em áreas áridas ou semiáridas da Terra ao buscar estabelecer comparações na atuação destes processos entre diferentes ambientes, conforme Viles (2011) demonstra na Figura 2 e Quadro 1.

O crescente interesse na busca pela averiguação da importância do fator climático nos processos geomórficos representa um dos desafios da geomorfologia atual. Além deste desafio, outros dois problemas se apresentam aos cientistas na investigação geomorfológica em ambientes áridos e semiáridos: o problema da quantificação das taxas de intemperismo, considerando a escala espaço-temporal, e a definição da real importância do intemperismo na formação e evolução das paisagens destes ambientes.

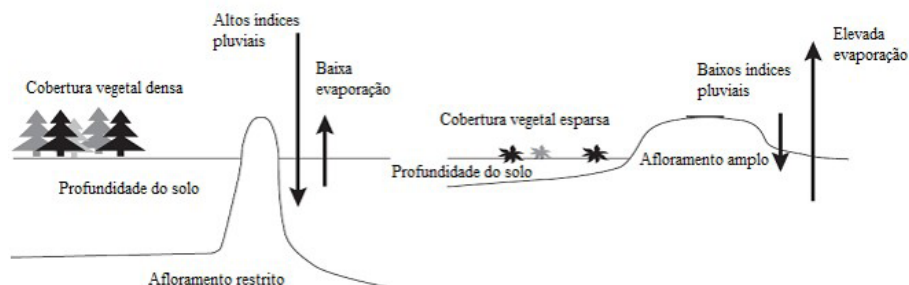


Figura 2 – Ação do intemperismo em ambientes temperado e árido.
Adaptado de VILES (2011).

Quadro 1 – Características do intemperismo em diferentes ambientes.

Ambiente Temperado	Ambiente Árido
Escoamento superficial transporta os produtos intemperizados.	Os sedimentos geralmente se acumulam <i>in situ</i> .
Precipitação é o controle mais importante da taxa de intemperismo.	Taxa de intemperismo fortemente influenciada pela variabilidade na precipitação e evaporação ao longo do tempo e do espaço.
Vegetação e micro-organismos têm influência indireta sobre intemperismo.	Vegetação e microrganismos geralmente têm influência direta na intempérie.
Sistema de intemperismo caracterizado por condições de equilíbrio.	Sistema intempérico caracterizado por condições de desequilíbrio.

Fonte: VILES (2011).

Bullard (2002) considera que as feições geomórficas características dos ambientes áridos e semiáridos da Terra variam consideravelmente, e existe uma percepção equivocada de que as paisagens destes ambientes são dominadas, apenas, por dunas de areia. Entretanto, estas feições resultantes de processos eólicos recobrem, apenas, 20-25% das terras áridas e semiáridas do planeta. Assim, para autores como Bullard (2002) e Corrêa (2006), há outras formas e ambientes a serem considerados para regiões áridas e semiá-

ridas, sendo estas mais representativas e recorrentes na Terra, em comparação com os ambientes de domínio processual eólico, sendo estes considerados a partir de domínios interfluviais e fluviais:

- **Desertos de areia:** representam áreas expansivas ou planícies de areia, nem sempre com formas dunares, mas que podem fornecer sedimentos para tais feições. São também conhecidos como *mares de areia* ou *campos de dunas*; geralmente de pequena dimensão regional e isolados;
- **Desertos de pedra:** representados por planícies pedregosas e planaltos estruturais. Geralmente não possuem vegetação e muitas vezes são caracterizados pelo desenvolvimento de pavimentos de pedra, com alta densidade de fragmentos grosseiros em superfície. No semiárido nordestino é uma feição representativa, relacionada com recobrimentos rudáceos formadores de pavimentos detríticos;
- **Montanhas ou morros isolados em áreas rebaixadas:** feições residuais rochosas, controladas pela geologia com rocha exposta, que no semiárido nordestino são representados por *inselbergs* e maciços residuais, localmente denominados de serrotes ou serrotões;
- **Pedimentos:** áreas de transição entre as terras altas e áreas rebaixadas, onde há ocorrência de processos erosivos e deposicionais. Representam feições, cujo declive cresce para montante em forma de concavidade ou em ruptura brusca (*knick point*), passando para uma vertente vertical ou de forte inclinação convexa até sua base com declividade entre 6° a 10°;
- **Rios intermitentes e efêmeros, planícies de inundação e bacias lacustres secas:** feições geralmente secas, mas que durante sazonalidade favorável a chuvas, geralmente de alta intensidade e de curta duração, produzem grandes quantidades de fluxos de água e sedimentos. As feições de bacias lacustres secas são identificadas no semiárido nordestino na forma de baixadas, pequenas lagoas (denominações locais) ou *playas*, que refletem topografias rebaixadas e convergentes que promovem o acúmulo de água e sedimentos remobilizados.

Dinâmica Superficial para o Semiárido Nordestino

Considerando a macrocompartmentação do relevo para a região do semiárido nordestino brasileiro, nesta porção regional a morfologia é definida, geralmente, por dois padrões principais de ambientes contrastantes e inter-relacionados:

- Planos suavemente inclinados, cujo declive varia em função dos processos atuantes e da lito-estrutura;
- Vertentes íngremes que correspondem a zonas de transição para ambientes elevados (RIBEIRO et al., 2010) (Figura 3).

A dinâmica superficial de paisagens em ambientes semiáridos pode ser avaliada a partir do modelo conceitual de sistema processo-reposta, levando em consideração a atuação dos sistemas eólicos, interfluviais e fluviais, e seus respectivos processos e feições geomórficas, derivadas da produção de sedimentos, transporte e construção/reconstrução de feições, como dunas e barras de arenosas em ambientes fluviais, por exemplo.



Figura 3 – Encosta ocidental do Planalto da Borborema
com presença de pedimento (Santa Luzia-PB).

Foto: Autores (2017).

As feições geradas como respostas aos processos podem interferir na morfodinâmica processual em intensidade e/ou velocidade, promovendo novas atuações dos processos. No caso dos processos fluviais, uma barra de areia pode reduzir a largura da área de escoamento do fluxo, podendo causar mudanças na resposta ao processo, produzindo maior erosão em pontos laterais das margens e, conseqüentemente, solapamentos nas margens.

Um sistema também pode ser afetado por outros fatores de maneira simultânea, como a ação antrópica e fenômenos da dinâmica climática e, desta forma, ocorrerão mudanças graduais ou repentinas/abruptas que serão responsáveis por novos processos e/ou intensificação dos corriqueiros, assim como por remodelagens de feições geomórficas já existentes, que levarão o sistema a uma busca por um novo patamar de equilíbrio (BULLARD, 2002).

Considerando os domínios interfluviais, a atuação dos processos erosivos superficiais difusos e lineares em ambientes semiáridos derivados de fluxos de água assume importante papel, e representa um dos mais destacados processos de formação e dinâmica da paisagem desses ambientes.

Mesmo ocorrendo de maneira escassa e descontínua no tempo e no espaço, a atuação da água enquanto agente do processo erosivo é relevante nas terras semiáridas. Levando-se em conta que a precipitação se concentra em curto período de tempo e que geralmente ocorre de forma torrencial, o processo erosivo é intenso, proporcionando uma grande produção de sedimentos em um curto lapso de tempo (BLOOM, 1996; GUPTA, 2011).

Ainda sobre a atuação do escoamento superficial nas paisagens interfluviais semiáridas, o mesmo é gerado por três mecanismos básicos, segundo Bullard (2002):

1. Por meio da precipitação pluvial que, ao chegar na superfície, excede a capacidade do solo de absorver e a própria taxa de infiltração cria o limite para a geração de escoamento, quando a intensidade da precipitação excede o limite da infiltração instantânea do solo ou quando a saturação do solo produz saturações dos fluxos superficiais, à medida que o fluxo chega a uma superfície já saturada e promove o escoamento superficial por saturação da infiltração;
2. Por meio do escoamento gerado pela exfiltração ou retorno do fluxo, que ocorre em áreas inclinadas (quebra de declive), no ângulo em que se dá o encontro do fluxo escoado das vertentes com a área plana e gera fluxo em superfície, devido à baixa capacidade de armazenamento nesses ambientes;
3. A partir da formação de tubos subsuperficiais, que fornecem escoamento das encostas para os canais.

Corrêa (2006), ao descrever a dinâmica morfológica superficial do semiárido nordestino, destaca que o processo geomórfico mais atuante no domínio interfluvial é o escoamento superficial difuso não canalizado, que devido à sua rapidez e intensidade, em um curto período de tempo, possui enorme poder erosivo, por conta da intensidade dos eventos pluviais característicos para este ambiente, resultando no transporte de material de granulometria grosseira, como seixos e cascalho, gerando pavimentos detríticos (Figura 4). A atuação deste processo depende, principalmente, da topografia, da cobertura vegetal e também das diferentes classes de solos, elementos dominantes na estrutura superficial da paisagem que detém o controle, em grande parte, da atuação dos processos geomórficos nas áreas semiáridas.



Figura 4 – Pavimento detrítico resultante do transporte de material de grande calibre mal intemperizado (Venturosa-PE).

Foto: Autores (2018).

Em estudos geomorfológicos baseados em uma abordagem sistêmica, o solo é um elemento que deve ser considerado como referencial para a caracterização temporal das condições de estabilidade do sistema geomórfico, visto que a morfogênese frequentemente é exercida através do solo e não diretamente sobre a rocha e, na estabilidade do solo, o papel primordial cabe à cobertura vegetal (TRICART, 1977).

Apesar do predomínio do escoamento superficial difuso, a presença de fluxos canalizados no semiárido nordestino está atrelada à existência de discretos pontos de inflexão (*knickpoints*), que promovem uma redinamização do escoamento superficial laminar que passa a ser canalizado-linear (Figura 5), e podem gerar pequenos ravinamentos que poderão evoluir para voçorocas, ainda que incipientes em dimensões.



Figura 5 – Processo erosivo provocado pelo escoamento superficial linear gerador de voçorocas incipientes em terreno desprovido de cobertura vegetal natural (Patos-PB).

Foto: Autores (2018).

Considerando as classes de solos nos compartimentos da paisagem do semiárido nordestino, nas áreas do domínio interfluvial ou nas planícies aluviais, destacam-se os Planossolos e Vertissolos (com horizonte A arenoso e B argiloso). Nestes solos, o horizonte A pode ser perdido rapidamente devido à sua granulometria arenosa por erosão laminar e/ou práticas agrícolas inadequadas e, neste caso, inicia-se um processo de erosão subsuperficial, com a abertura de alvéolos. Por fim, a soleira basal argilosa expansiva destes solos fica exposta com formação de solos gretados com uma densa rede de fendilamentos (CORRÊA, 2006).

Nas áreas de sopé dos *inselbergs*, ocorrem os latossolos (representantes de outras fases climáticas menos secas), que são facilmente erodíveis e favorecem o desencadeamento da erosão linear, com a consequente formação de ravinas em áreas desprovidas de vegetação natural. Contudo, é comum no sopé de *inselbergs* a presença de cobertura vegetal natural herbácea-arbustiva, devido ao acúmulo de umidade decorrente do escoamento da água sobre a superfície rochosa destes corpos litológicos, o que minimiza a ação erosiva.

Quanto às formas de usos e ocupações, estas respondem, gradativamente, por processos de degradação dos solos, que são antecidos pelo desmatamento da cobertura vegetal natural de caatinga a partir da implementação de atividades antrópicas de manejo inadequado de pequenos produtores em assentamentos rurais, além da ausência de incentivo governamentais e capacitação para a produção agrícola familiar adequada ao manejo dos solos (FÔNSECA et al., 2017).

Quanto aos domínios fluviais, estes resultam da erosão e acumulação derivadas da atividade das águas de escoamento canalizadas, mais evidente nas regiões semiáridas. A ação fluvial é limitada aos vales, onde a erosão e a sedimentação fazem parte da dinâmica processual junto aos sistemas aluviais, que distribuem a água e a carga sólida até os sopés pedimentares, com uma diminuição gradativa do calibre das partículas em direção às áreas distais (GUTIÉRREZ, 2011).

Nas regiões consideradas áridas e semiáridas há predominância dos rios intermitentes e efêmeros, onde há fluxo de água nos canais apenas durante e por horas ou dias após eventos pluviais intensos, ou ao longo da estação considerada chuvosa, sendo momentos em que o escoamento superficial irá “abastecer” os canais fluviais e, desta forma, faz-se necessário compreender que a dinâmica fluvial é diretamente proporcional à relação chuva/escoamento, como também à relação magnitude/frequência dos eventos chuva/escoamento, os quais irão controlar as vazões dos canais (GRAF, 1988; SOUZA e CORRÊA, 2019).

No tocante aos processos geomorfológicos promovidos pelos cursos fluviais autóctones, é preciso levar em conta que os mesmos são controlados pelos índices pluviométricos dos ambientes áridos ou semiáridos, que definem a natureza e a intensidade do trabalho dos rios no domínio fluvial. Portanto, para o semiárido nordestino, há uma deficiência hídrica anual que se reflete em uma drenagem intermitente e efêmera, incapaz de entalhar profundamente os vales fluviais (CORRÊA et al., 2010).

Contudo, dado a intensidade dos eventos chuvosos, a precipitação em regiões áridas ou semiáridas pode causar breves períodos de enchentes e inundações, especialmente em lugares onde a infiltração para o subsolo é baixa devido à existência expansiva de rochas expostas, pouca espessura do solo, incipiente cobertura vegetal e vales de pouca profundidade. Para Gupta (2011), quando da ocorrência de inundações em áreas áridas, a umidade antecedente geralmente não é considerada, uma vez que, a partir de simulações de chuvas em bacias hidrográficas experimentais, constatou-se que o tempo de atraso desde o início da precipitação até o início do escoamento é altamente dependente das rochas e solos predominantes na região.

Assim, mesmo nas áreas consideradas secas, as enchentes e inundações são eventos de alta magnitude, porém de baixa recorrência, reconhecidos como enchentes relâmpagos

(*flash flood*), que podem ter efeitos significativos para o processo de modelagem geomorfológica devido à intensidade e capacidade de remobilização de sedimentos, sendo eventos causadores de efeitos adversos para áreas com sítios urbanos que, devido à impermeabilizações expansivas, podem intensificar tais fenômenos (GUPTA, 2011).

Contudo, mesmo considerando os curtos e intensos períodos de chuvas, nos quais o rio adquire grande poder erosivo, pós evento chuvoso o fluxo vai reduzindo à jusante e o canal de drenagem vai perdendo a capacidade de erodir e de transportar sedimentos. Dessa forma, os sedimentos vão se acumulando em forma de barras de areia ao longo do canal fluvial (barras longitudinais) ou mesmo em suas margens (barras laterais), e ficam disponíveis para modificações do fluxo hídrico e mesmo para remobilizações a partir de eventos pluviais posteriores.

No semiárido nordestino, barras longitudinais vegetadas (Figura 6) são formas deposicionais que adquirem maior resistência aos processos erosivos e induzem a um maior poder de deposição, configurando-se em formas fluviais mais estável na paisagem, mas ainda sujeitas a eventos de alta magnitude e baixa frequência capazes de modificá-las e remobilizar seus sedimentos (WEMERSON et al., 2019). Outra consequência do acúmulo de sedimentos na paisagem fluvial é a perda de conexão ou de integração no sistema de drenagem (desconectividade) nos diferentes setores de um canal fluvial de caráter efêmero, que sofre forte aporte de sedimentos, além da redução da largura e profundidade do canal fluvial por acúmulo sedimentar.



Figura 6 – Domínio fluvial no canal do rio Ipanema (Águas Belas-PE).

Presença de barras longitudinais ao centro do canal.

Fonte: WEMERSON et al. (2019).

É de fundamental importância que em estudos sobre os processos fluviais em ambientes áridos e semiárido se considere que existem cursos fluviais perenes em tais ambientes, como é o caso do rio São Francisco no semiárido nordestino, e estes podem gerar feições geomórficas consideradas estranhas ao ambiente seco. Desta forma, é preciso analisar com cautela as diferentes feições geradas pelos cursos fluviais que ocorrem nestes ambientes (YANG e WILLIAMS, 2015).

É importante destacar que apesar de a maioria dos rios de regiões áridas e semiáridas terem fluxo intermitente ou sazonal, ou efêmeros, estes desempenham importante função na mudança da paisagem, promovendo dissecação e deposição, e exercem, ainda, uma forte influência para o uso e ocupação humano destes ambientes, tidos como marginais do ponto de vista físico-naturais devido à escassez, principalmente, de recursos hídricos abrangentes.

A maior parte dos rios de áreas áridas e semiáridas são endógenos e, geralmente, desembocam em depressões, planícies aluviais, ou em campos de dunas, entre outros ambientes. Tais rios tendem a ser muito mais curtos do que rios exógenos, pois sofrem processos de evaporação e infiltração ao longo de seus cursos. No caso de grandes rios do semiárido nordestino, estes se comportam de maneira anômala entre o conjunto de rios de terras secas, já que apresentam sistema fluvial aberto, com o fluxo correndo em direção ao oceano, como no caso dos rios Paraíba e Jaguaribe, ou são afluentes de rios que seguem para o oceano Atlântico, como é caso dos rios Pajeu e Moxotó, afluentes da margem esquerda do rio São Francisco (AB' SABER, 2003; THOMAS, 2011).

Nas áreas dos domínios fluviais, a incipiente e descontínua quantidade de fluxo hídrico impede a formação de um vale fluvial profundo e confinado, sendo comum vales não confinados ou com baixo patamar de entalhe do fluxo hídrico que está limitado aos meses chuvosos, que, para determinadas áreas intrarregionais, é entre dezembro a junho.

Ademais, o predomínio das litologias cristalinas e metamórficas restringe a existência de um lençol freático de abrangência regional e, por conseguinte, disponibilidade hídrica subsuperficial para os leitos fluviais do semiárido nordestino (CORRÊA, 2006), ficando a disponibilidade hídrica restrita à duração de eventos pluviais e curtos períodos (dias) pós tais eventos e possibilidades de recorrências destes.

Do ponto de vista processual, para o domínio fluvial de pequenos e médios canais, o processo mais atuante é o da sedimentação, que transforma o leito do rio em depósito de diferentes granulometrias que geram barras arenosas em pontos no interior e nas margens dos leitos fluviais. Contudo, na dependência da intensidade de eventos pluviais extremos, poderá ocorrer a gênese de pontos de ruptura e cavidades em formas de cacimbas, que podem ser preenchidos, *a posteriori*, por eventos pluviais subsequentes.

Destaca-se, segundo Corrêa (2006), que, para rios de maior extensão, poderão existir trechos com planícies aluviais delimitadas por terraços que os separam do leito *stricto sensu*. No caso destes canais existe um entalhe fluvial preenchido por clastos grosseiros. Segundo Ab'Saber (1990; 2003), no sertão nordestino, a somatória das áreas de vales fluviais que apresentam planícies aluviais não chega a 2% da área do espaço total do semiárido regional.

Considerações Finais

O papel da umidade é muitas vezes subestimado na avaliação da atividade geomorfológica em ambientes áridos e semiáridos. O escoamento superficial, seja laminar ou linear, quer ocorram efemeramente ou episodicamente, é de considerável importância como processo modelador do relevo, pois mesmo eventos de chuva de baixa intensidade podem gerar escoamentos e, conseqüentemente, modelagem morfogênica.

Os processos morfológicos que ocorrem em ambientes áridos e semiáridos, e suas expressões morfológicas, não são exclusivos destes ambientes. Alguns processos podem operar de forma mais favorável ou assumir uma maior importância relativa do que em outros ambientes, como o processo de escoamento superficial laminar, que atua com maior intensidade devido à cobertura vegetal escassa em tais ambientes.

O entendimento dos diferentes processos e suas interações ecológicas nos ambientes áridos e semiáridos permite produzir uma gama de conhecimentos para que as sociedades que os habitam possam se utilizar dos seus recursos buscando a redução de práticas agrícolas danosas e atuando na proteção e/ou reversão de danos ambientais sobre estes ecossistemas, sobressaindo-se as possibilidades de aproveitamento da água como matéria escassa, transformada em recurso hídrico.

Desta forma, entender a dinâmica processual atuante em paisagens de regiões semiáridas, como o sertão do Nordeste brasileiro e, especificamente, domínios interfluviais e fluviais, é de fundamental importância para ações de planejamento e gestão dos recursos naturais destes ambientes, pois oferece amplas possibilidades para estudos voltados a reduzir a pressão antrópica sobre estes ecossistemas, já naturalmente fragilizados, no referente à minimização de efeitos de intensificação de processos naturais potencializados por formas de usos e ocupações danosas ao equilíbrio dinâmico regional.

Referências Bibliográficas

AB' SABER, A. N. Dossiê Nordeste seco. *Revista Estudos Avançados* – USP, São Paulo, v. 13 (36), 1990.

_____. *Domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê editorial, 2003. 159 p.

_____. O paleodeserto de Xique-Xique. *Revista Estudos Avançados* – USP, São Paulo, v. 20 (56), 2006.

BLOOM, A. L. *Superfícies da terra*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1996. 184 p.

BRASIL. *Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil* / MMA. Secretaria de Recursos Hídricos, Universidade Federal da Paraíba; Marcos Oliveira Santana (Org.). Brasília: MMA, 2007.

BULLARD, J. *Dryland landscapes*. Published by Royal Geographical Society (with the Institute of British Geographers), v. 34, n. 1, p. 1-12, 2002.

CONTI, J. B. O conceito de desertificação. *Revista Climatologia e Estudos da Paisagem*, v. 3, n. 2, 2008.

CORRÊA, A. C. B. Morfodinâmica e sensibilidade ambiental dos ambientes semiáridos brasileiros: um enfoque a partir das relações solo x paisagem. *Revista Portal do São Francisco – Ciências Humanas e Sociais*. Belém do São Francisco-PE, v. 5, n. 5, p. 51-65, 2006.

_____.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. *Revista do Instituto Geológico*, v. 31, n. 1/5, p. 35-52, 2010.

FONSÊCA, D. N.; SILVA, A. C. da; BARROS, A. C. M. de; SILVA, J. C. B. da e GIRÃO, O. Mapeamento morfodinâmico como suporte à análise de processos de degradação em áreas do município de Cabrobó – Pernambuco. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, Sobral/CE, v. 19, n. 2, p. 92-107, 2017.

GIRÃO, O. *Reconstrução do clima no nordeste brasileiro: secas e enchentes do século XIX*. Lisboa: Finisterra, v. XLVII, n. 93, p. 2947, 2012.

GRAF, W. L. *Fluvial process in dryland rivers*. Caldwell: The Blackburn Press, 1988. 346 p.

GOUDIE, A. *Arid and semi-arid geomorphology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. 454 p.

GUPTA, A. *Tropical geomorphology*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 409 p.

GUTIÉRREZ, M. *Climatic geomorphology*. Londres: Elsevier, 2005. 760 p.

MELO, M. L. *Paisagens do Nordeste em Pernambuco e Paraíba*. Recife: CEPE, 2012. 256 p.

NÓBREGA, R. S.; SOARES, D. B.; GIRÃO, O. *Sucessão de tempo no sertão pernambucano: uma abordagem dinâmica climática durante a seca de 2012*. CLIMEP – Climatologia e Estudos da Paisagem, v. 8, n. 2, p. 49-66, 2013.

RIBEIRO, S. C.; MARÇAL, M. S.; CORREA, A. C. B. Geomorfologia de áreas semiáridas: uma contribuição ao estudo dos sertões nordestinos. *Revista de Geografia*. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 27, n. 1, 2010.

SOUZA, J. O. P.; CORRÊA, A. C. B. Escoamento superficial e balanço hídrico em ambientes secos com topografia complexa – bacia do riacho do Saco – Pernambuco. *GEOgraphia*, v. 21, n. 46, p. 106-119, 2019.

THOMAS, D. S. G. Arid environments: their nature and extent. In: THOMAS, D. S. G. T. (Org.). *Arid zone geomorphology: process, forms and change in drylands*. Hoboken: Ed. John Wiley & Sons, 2011. p. 3-16.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977. 97 p.

VILES, H. A. Weatherin systems. In: THOMAS, D. S. G. T. (Org.). *Arid zone geomorphology: process, forms and change in drylands*. Hoboken: Ed. John Wiley & Sons, 2011. p. 85-101.

SILVA, W. F.; ALMEIDA, J. M.; SANTOS, L. D. J., SOUSA, S. G.; LISTO, F. L. R; GIRÃO, O. Proposta de estilos fluviais na análise da morfodinâmica em rio semiárido: rio Ipanema, Pernambuco. *Revista OKARA: Geografia em debate*, v. 13, n. 1, p. 252-272, 2019.

YANG, X.; WILLIAMS, M. Landforms and processes in arid and semi-arid environments. *Catena*, v. 134, 2015.

Recebido em: 05/01/2020

Aceito em: 10/02/2020